

Simulação de inundações urbanas com imagens CBERS, DEM SRTM e levantamentos GPS – Estudo de caso na cidade de Jacobina, Ba

José Alves de Jesus¹

¹ Universidade do Estado da Bahia – UNEB – Departamento de Ciências Humanas – Campus IV Jacobina
Rua Deodoro da Fonseca, 498 Centro – CEP 44700-000 – Jacobina – Bahia
gpsbahia@yahoo.com.br

Abstract: The free distribution of CBERS images satellite for INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) and SRTM data for USGS, DLR and ASI, make possible at present to any people, ONG's, publics and privates institutions use it in a great number of remote sensing and geoprocessing applications. This work analisys the viability for application the CBERS images satellite with SRTM data associate with GPS data in simulation of inundation and permeability of the soil in urban perimeter in the city of Jacobina, Bahia, Brazil.

Palavras-chave: 3D simulation, Remote Sensing, image processing, CBERS, simulação 3D, Sensoriamento Remoto, processamento de imagens, CBERS.

1. Introdução

A distribuição gratuita de dados de sensoriamento remoto, em especial as imagens do satélite CBERS-2, distribuídas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e dados SRTM distribuídos pelo USGS, tem proporcionado a popularização e utilização de dados primários de Sensoriamento Remoto em diversas áreas do conhecimento através das técnicas de geoprocessamento. Neste sentido, ONG's, sociedade civil, órgãos e instituições públicas, vem se beneficiando e tomando consciência cada vez mais da importância da disseminação, do intercâmbio e utilidade destes dados em benefício da sociedade em geral. Em especial, a gestão e o planejamento do espaço urbano em cidades de pequeno e médio porte podem ser incrementadas com a implementação destas técnicas

2. Objetivos

O presente trabalho analisa a viabilidade de aplicação de imagem do sensor CCD do satélite CBERS 2 associados a dados SRTM e levantamentos altimétricos com GPS no desenvolvimento de um SIG para a simulação de manchas de inundação e permeabilidade do solo na área urbana da cidade de Jacobina-Ba. Neste sentido objetiva-se:

- Corrigir geometricamente as cenas do imageador CCD do satélite CBERS 2;
- Fazer recorte da cena para a área de estudo;
- Gerar mosaico em composição colorida 4G3BR2;
- Gerar uma composição colorida 4G3B2R restaurada com pixel de cinco metros;
- Corrigir e associar dados DEM SRTM ao projeto;
- Realizar a interpolação dos dados SRTM de 90m para 10m;
- Levantamento de amostras altimétricas com GPS;
- Criação de grade retangular com a interpolação de pontos das curvas de 10m com as amostras altimétricas gps levantadas em campo;
- Gerar curvas de nível de 5m para a área em estudo;

- Realizar classificação do solo através da cena CCD Banda 4 para estimar quantitativamente o grau de permeabilidade do solo;
- Gerar um modelo 3D associando as curvas de nível;
- Realizar simulação de inundação;

3. Área de estudo

A área de recorte deste estudo compreende o perímetro urbano da cidade de Jacobina, Bahia. Situada na região fisiográfica denominada Piemonte da Diamantina, distante 322 Km da cidade de Salvador, a sede do município é atravessada pelo Rio Itapicurú-mirim que forma um dos braços principais do Rio Itapicurú-açu, constituindo-se na terceira maior bacia hidrográfica do estado da Bahia. Segundo o censo populacional do IBGE de 2000, na sede do município residem aproximadamente 51.000 habitantes. O sítio urbano está situado entre as encostas da Serra das Jacobina e a Serra do Tombador, sendo que grande parte desta área é composta por várzeas, brejos e lagoas.

Embora a cidade de Jacobina esteja situada na zona do polígono das secas, historicamente foram registradas grandes enchentes provocadas pelo Rio Itapicuru-mirim - durante as trovoadas que geralmente ocorrem entre os meses de novembro a janeiro -, alternado com períodos prolongados de estiagem. Neste período as médias de precipitação variam de 350mm a 400mm, o que equivale a mais de 50% do volume de chuvas que ocorrem durante o restante do ano – 800 a 900mm.

Em Jacobina, as áreas mais planas e elevadas em relação ao leito do rio no perímetro urbano foram ocupadas desde o século XVII, e as encostas das serras entre as décadas de 1930 e 1990. Entre os anos de 1994 e 2004, a cidade sofreu um processo de expansão urbana sem nenhuma política municipal que viesse regulamentar este processo. Dessa forma, inúmeras áreas anteriormente alagáveis pelo Rio Itapicuru-mirim, foram aterradas para a criação de loteamentos, estradas, condomínios e empreendimentos públicos ou privados. Assim, em muitos trechos o leito rio chegava a ter 100 metros de largura, ficando reduzido a canais com no máximo 5 metros de extensão e pouco mais de 2 metros de profundidade. Além destes fatores, acrescentam-se a impermeabilização do solo urbano – provocando rápido escoamento das águas superficiais -, o assoreamento lento e gradual do leito do rio, em função da retirada de mata ciliar para formação de pastagens, atividade agrícola, atividade mineradora e a retirada de pedras e areia à montante da área mencionada. Isso dificulta o escoamento do volume de água contribuindo para a ocorrência de inundações. Em 2000, o município em parceria com o governo do estado da Bahia, projetou e implementou uma via de articulação urbana, unindo dois bairros anteriormente separados pelo rio, criando uma grande barreira para o escoamento das águas. Esta via tem uma extensão de 911 metros, correspondendo a largura anterior do leito do rio durante as cheias. Assim, toda a água das chuvas captadas pela bacia do Rio Itapicuru-mirim passaram a ser represadas por esta via, restando apenas uma ponte com vão de 30 metros de largura por 3 de altura, onde toda esta água deve fluir. Assim, em 20 de janeiro 2001, uma chuva de 120 milímetros durante 8 horas foi o suficiente para alagar grande parte da cidade causando uma série de prejuízos. Todavia, este fato não foi suficiente para que as autoridades competentes tomassem medidas para evitar novos alagamentos. Dessa forma, na atualidade, ao longo desta nova via de articulação, surge outra frente de expansão urbana, com inúmeros aterros nas margens do rio e/ou construções com muros de arrimo nivelados com a via projetada, reduzindo a capacidade de escoamento das águas no perímetro urbano.

4. Imagens CBERS

O Satélite CBERS-2 (China-Brazil Earth Resources Satellite), segundo satélite de sensoriamento remoto resultante da cooperação técnica entre Brasil e China, com características semelhantes aos tradicionais satélites Landsat e Spot, leva a bordo três sensores: O IR-MSS, um varredor multiespectral infravermelho com resolução espacial de 80 metros; uma câmera CCD de média resolução espacial (20 metros) e um imageador de visada larga (WFI) com resolução espacial de 260 metros.

As resoluções espacial e espectral das imagens produzidas por estes sensores, possibilitam atender as mais diversas necessidades de aplicação nos estudos de sensoriamento remoto, dentro das características de cada um. Destacando a qualidade da câmera CCD, que na atualidade tem sido motivo de reuniões entre o INPE, representantes da NASA e do USGS, pela possibilidade das imagens CBERS, virem preencher a lacuna deixada pelo satélite Landsat-5 na geração de imagens para os Estados Unidos e outros países do mundo.

Para a realização deste trabalho, utilizamos uma cena da câmera CCD nas bandas B2_CCD1XS (0,52 a 0,59 μ m), B3_CCD1XS (0,63 a 0,69 μ m) e B4_CCD1XS (0,77 a 0,89 μ m) distribuída gratuitamente pelo INPE.

5. DEM SRTM

SRTM é a nomenclatura dada ao projeto de missão espacial executado pela NASA, tendo como parceiros as agências espaciais italiana e alemã – ASI e DLR respectivamente. Executado no período de 11 a 22 de fevereiro de 2000, consistiu na colocação um par de antenas operando na banda C (transmissão e recepção) e X (recepção), caracterizando uma linha de base interferométrica. Tornou-se a primeira experiência de interferometria a partir de um ônibus espacial (Endeavour). Os dados da banda C decorrentes desta experiência são distribuídos gratuitamente na forma de grade MNT (Modelo Numérico de Terreno), com resolução de 3 arcos de segundos (90 metros) pelo serviço geológico dos Estados Unidos. Neste trabalho utilizamos uma destas grades que possibilitou gerar um modelo 3D a partir do refinamento (interpolação) da mesma, com dados GPS.

5. Sistema de posicionamento GPS

O Global Position System (GPS), é o sistema de posicionamento global desenvolvido pelo Departamento de Defesa Americano, inicialmente com finalidade militar e posteriormente aberto para uso civil. Consiste no arranjo de 24 satélites NAVSTAR, orbitando a terra a cada doze horas a uma distância de 20.200 Km, garantindo um posicionamento de alta precisão quando são utilizados receptores que trabalham com as Frequências L1 e L2 (dupla frequência) e/ou precisão da ordem de 3 a 10 metros, quando utilizados receptores comuns de navegação. Desde o lançamento dos primeiros receptores GPS, tem havido um grande crescimento no número de aplicações topográficas e cartográficas, devido as facilidades apresentadas por este sistema.

Para a coleta das amostras deste estudo, utilizamos um receptor GPS RTK GX1230, de dupla frequência, precisão de 1cm em RTK e de 3mm + 0,5ppm com processamento de fase L1 e L2.

6. Metodologia

Para a realização deste trabalho, utilizamos a imagem CBERS 151-112, do sensor CCD, de 17/11/2004, resolução de 20 metros e bandas espectrais B2_CCD1XS (0,52 a 0,59 μ m) verde, B3_CCD1XS (0,63 a 0,69 μ m) vermelho e B4_CCD1XS (0,77 a 0,89 μ m) do infravermelho

próximo. Adotamos o sistema de projeção UTM SAD-69, dessa forma, todos os dados utilizados neste trabalho foram convertidos para este sistema. O software utilizado para o projeto SIG foi o Arcmap com a ferramenta hydrotools e para as simulações 3D o ArcScene, estes produzidos pela ESRI. Antes de realizar a correção geométrica, verificamos que a banda 4 originalmente apresentava um deslocamento da ordem de 3,79 Km, em relação às bandas 2 e 3. Para evitar problemas na precisão de posicionamento, a correção de sistema das cenas foi realizada separadamente através de modelo polinomial de segunda ordem, utilizando a técnica de vizinho mais próximo, visando preservar os valores originais dos níveis de cinza para uma posterior classificação. Os pontos de controle – em número de quinze (15) - foram obtidos em campo com receptor GPS, levando em conta o melhor arranjo espacial das feições facilmente reconhecidas na imagem, objetivando a minimização dos erros de correção. Em seguida, foi gerada uma composição colorida 4G3R2B, para servir de referência aos *layers* (camadas de dados) a serem adicionados ao projeto. E, efetuamos um recorte da mesma para a área de estudo.

Realizamos uma classificação supervisionada na área de recorte, através do método de máxima verossimilhança (maxver). A escolha do tipo de classificação, ocorreu por haver um conhecimento da área de estudo, e ao mesmo tempo, testar a eficácia da banda 4 (infravermelho próximo) do CBERS neste tipo de aplicação. Para a definição deste método, tomamos como base os estudos de Ragan (1980). Dessa forma, as amostras de treinamento que foram definidas em 5 classes: Cristas de serras, permeável, altamente impermeável, média permeabilidade, vegetação aquática.

As classes foram escolhidas com base na classificação SCS (*Soil Conservation Service*) em função do comportamento hidrológico e da ocupação dos solos, conforme **tabela 1**.

Tabela 1

CLASSE DE SOLOS	CARACTERÍSTICAS DO SOLO
Baixo escoamento	Apresentam alta infiltração e baixo escoamento superficial. Arenosos profundos
Escoamento abaixo da média	Apresentam infiltração e escoamento menor que os solos de baixo escoamento. Arenosos pouco profundos
Médio escoamento	Apresentam infiltração abaixo da média e escoamento superficial acima da média. Argilosos pouco profundos
Grande escoamento	Apresenta baixa infiltração e grande escoamento superficial. Argilosos expansivos pouco profundo

Adaptado de Ponce (1989)

Efetuiu-se uma restauração da composição colorida com resolução de 20m para pixels de 5m, objetivando usá-la como plano de textura no modelo de simulação 3D, bem como, possibilitar a ampliação da escala de visualização das curvas de níveis que foram geradas posteriormente.

Em campo, realizamos a coleta de dados altimétricos com um receptor GPS de dupla frequência na área em estudo, concentrando estes pontos ao longo do leito do rio, especificamente: nos aterros, nas vias construídas às margens do rio, em locais onde a vegetação apresentava uma cobertura que pudesse interferir nos valores de altitude atribuídos pelo radar e em regiões adjacentes. Os pontos coletados totalizaram 296 amostras realizadas nos dias: 28/10/2005, 14/12/2006, 19/12/2006, 28/02/2006, 21/03/2006 e 14/04/2006. Após o pós-processamento das amostras com dados *rinex*, estes pontos foram exportados para o projeto no software Arcmap onde foram interpolados com os dados de elevação SRTM.

O arquivo SRTM foi corrigido com o software BLACKART para a eliminação de valores negativos e posteriormente exportados para o projeto. Vale lembrar, quando utilizados em aplicações hidrológicas, os modelos de elevação SRTM podem apresentar uma série de anomalias, tendo em vista, que dados derivados de radar sofrem influência da cobertura vegetal provocando erros significantes em cursos de rios e fluxos de direção. Para corrigir este problema, numa primeira etapa, realizamos uma interpolação dos dados, gerando uma grade que nos possibilitou gerar curvas com equidistância de dez metros. Com este arquivo, realizamos uma outra interpolação em associação com os dados de altimetria coletados em campo com o GPS. Objetivou-se com isto, refinar a grade e eliminar possíveis anomalias. Finalizado este processo, criamos uma grade final onde foi possível gerar curvas de níveis com resolução de 1m.

Realizou-se a digitalização de uma carta da cidade de Jacobina na escala de 1:25000, contendo quadras e sistema viário e rede de drenagem para servir como referência para análise da mancha de inundação. Em seguida, estas informações foram georeferenciadas em relação aos demais dados do projeto.

7. Resultados

Os resultados apresentados na **figura 1** referentes à classificação da banda 4 do CBERS no que diz respeito à permeabilidade do solo, foram satisfatórios quando comparados com as observações realizadas em campo. Dessa forma, as diferenças encontradas podem ser justificadas levando-se em conta a resolução de 20m do sensor CCD e a escala de aplicação deste trabalho. Além disso, existe a possibilidade de que a resolução espacial absoluta deste sensor seja maior do que 20 metros, bem como, a faixa espectral mais adequada para este estudo seja o infravermelho termal. Portanto, torna-se viável a utilização do sensor CCD do CBERS em estudos hidrológicos em áreas de expansão urbana no que se refere ao grau de escoamento e permeabilidade dos solos.

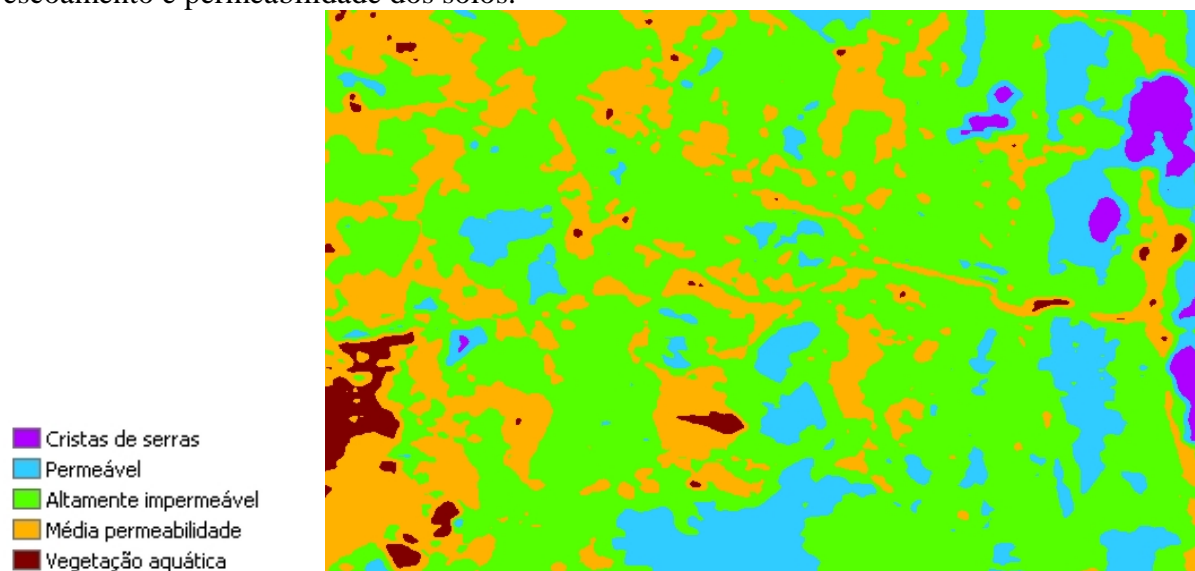


Figura 1

Além disso, essas pequenas diferenças apresentadas na classificação, podem estar relacionadas a diferenças radiométricas existentes numa mesma banda, e a geometria interna das bandas. Observamos que a banda 4 do CCD apresentava um deslocamento de 3,79 Km e a banda 3 de 980m em relação a banda 2, motivo pelo qual a correção geométrica foi realizada manualmente em cada uma destas bandas. Na **figura 2**, podemos observar a área de recorte do

estudo em composição 4G3B2R, juntamente com o sistema viário e a rede de drenagem da cidade de Jacobina.

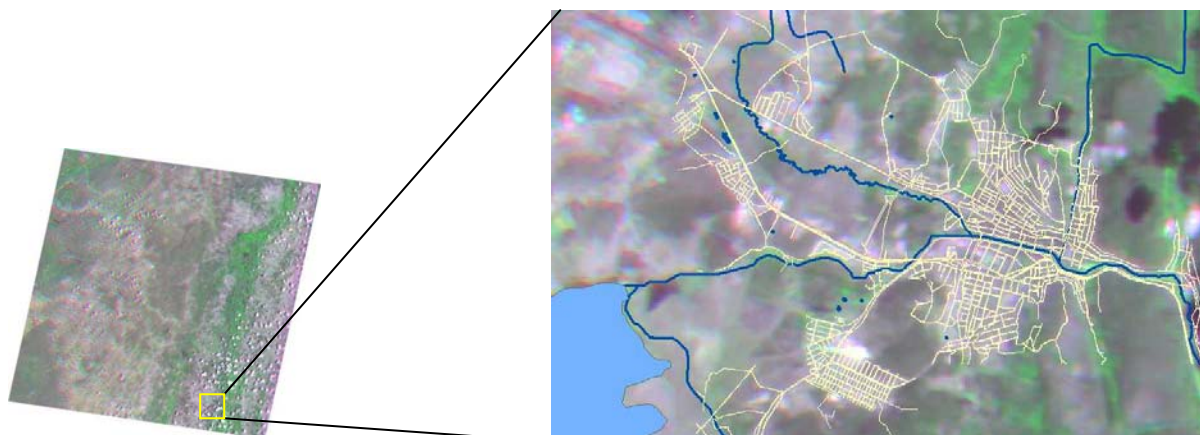


Figura 2

A interpolação dos dados SRTM com as amostras coletadas em campo com GPS mostraram-se extremamente viáveis na geração de uma nova grade altimétrica que permitisse corrigir as possíveis anomalias e distorções existentes na grade original em função dos problemas que ocorrem com radares SAR na presença de cobertura vegetal e curso de rios. A **figura 3** apresenta a área de projeto com a grade original SRTM, a **figura 4** apresenta a área onde os pontos altimétricos foram coletados com GPS e interpolados com a grade original.

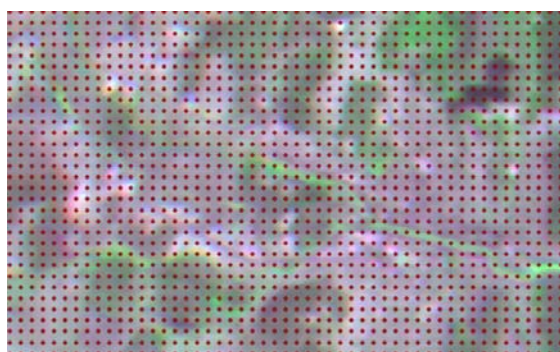


Figura 3



Figura 4

Os dados apresentados mostram a viabilidade da associação de dados SRTM e pontos altimétricos GPS em estudos urbanos, inclusive processos hidrológicos, desde quando a área de estudo não exija a alta precisão dos levantamentos altimétricos. As limitações apresentadas por esta metodologia, está na dificuldade de coletas de dados GPS em função do arranjo geométrico dos satélites e distorções de sinais (PDOP e DPOP) durante este processo, demandando bastante tempo na espera do melhor arranjo, bem como da inviabilidade na coleta de um número alto de amostras em uma área extensa. A **figura 5**, mostra 39 pontos de interseção existentes entre cotas SRTM e cotas GPS encontrados durante a interpolação. Verificamos que apenas 2,56% do total de amostras apresentam diferenças maiores que 1m para mais ou para menos em relação aos pontos coletados.

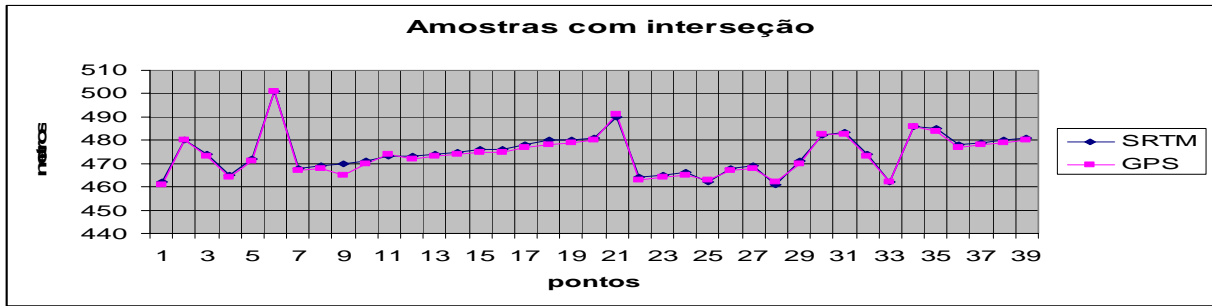


Figura 5

Na figura 6, apresentamos a renderização do TIN, onde é possível verificar em A o detalhamento do leito do rio e em B detalhes de elevação da rodovia em relação às regiões adjacentes.

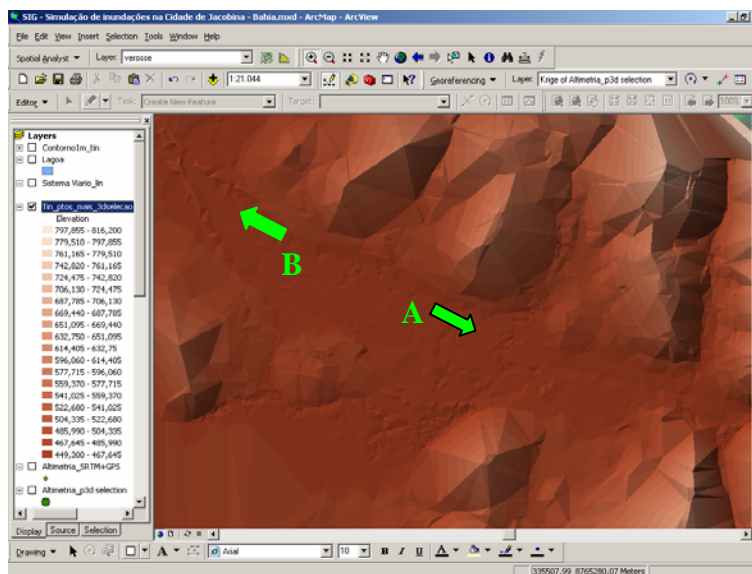


Figura 6

A figura 7, temos uma visão em 3D associado ao sistema viário e as curvas de nível. Na figura 8 temos a visão em 3D associado ao sistema viário e o grau de declividade da superfície estudada.

Apresentamos na figura 9, uma simulação em 3D com as curvas de níveis e a mancha de inundação da região estudada, tomando como parâmetro os dados de precipitação e vazão do Rio Itapicuru-mirim na última enchente ocorrida na cidade no dia 20 de janeiro de 2001 em associação com os dados levantados neste estudo. Para isto utilizamos a ferramenta hydrotools para a entrada dos parâmetros para simulação de inundação. Na figura 10, apresentamos um 3D com o mosaico CBERS.

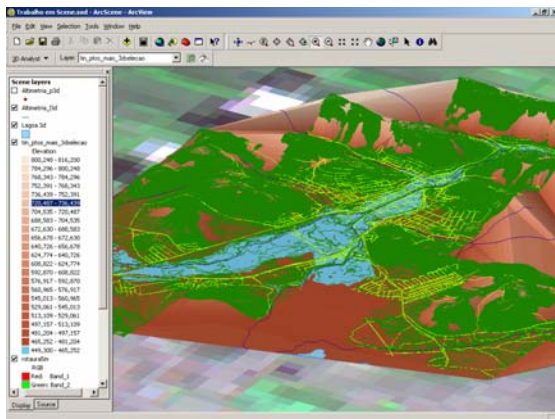


Figura 9 – Simulação com dados de 20/01/2001.

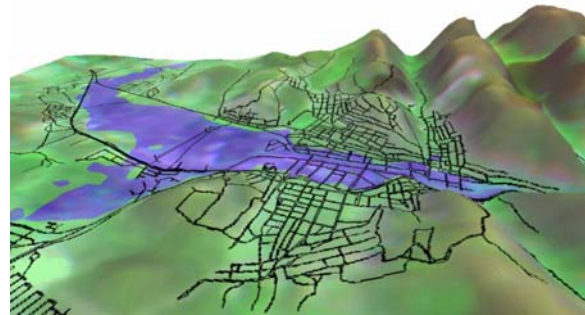


Figura 10 – Simulação com composição 4R3G2B

Na **figura 11** apresentamos o grau de declividade da região estudada. Na **figura 12** observa-se o sentido de fluxo em relação a declividade da área.

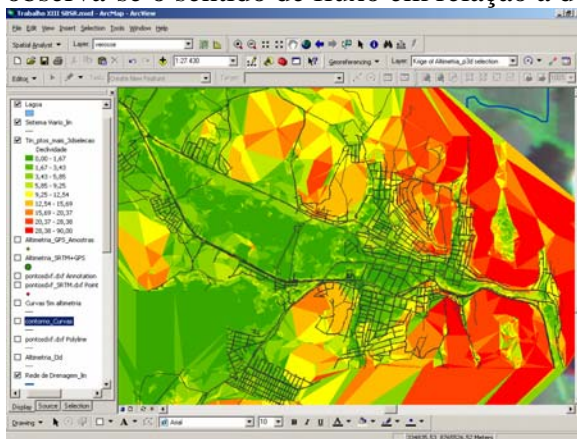


Figura 11

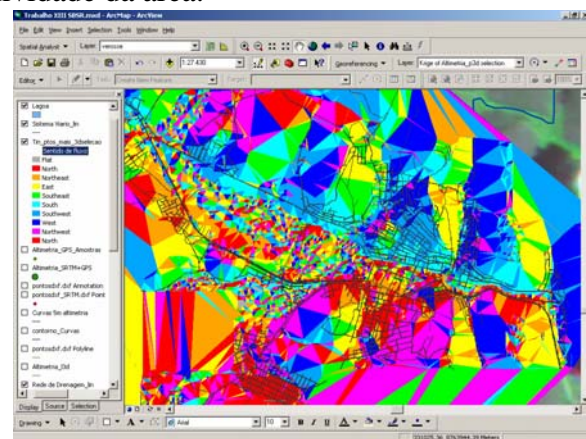


Figura 12

Observa-se as terras com menor grau de inclinação concentram-se exatamente nos vazios urbanos que vem sofrendo o processo de expansão urbana. Além disto, toda a região adjacente apresenta um alto grau de declividade que converge para o a área de inundação.

8. Conclusões

O uso de imagens CBERS para análise de expansão urbana relacionados a processos hidrológicos que necessitem extrair dados relativos à permeabilidade do solo apresentam resultados válidos. Deve-se apenas se observar os problemas relacionados a correção geométrica e radiométrica das bandas espectrais no sentido de evitar problemas nas classificações.

Os dados SRTM associados a levantamentos GPS constituem uma excelente alternativa para estudo em áreas urbanas de pequena extensão e onde não se necessite de dados altimétricos de alta precisão.

Assim, a associação de dados SRTM, levantamentos GPS e imagens CBERS CCD constituem alternativas de baixo custo para a simulação de manchas de inundação e consequentemente gestão de cidades de pequeno e médio porte. A viabilidade de tais projetos somente é possível em função de distribuição gratuita de dados primários de Sensoriamento Remoto. Neste sentido, as ações desencadeadas pelas agências USGS, DLR, ASI e em maior grau pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), possibilitam a democratização das tecnologias de geoprocessamento e sensoriamento remoto, além de gerar uma maior produção de conhecimento sobre nosso território.

Referências

Ragan, R.M.; Asce,M.; Thomas J.J. Use of Satellite Data in Urban Hydrologic Models, **Journal of the Hydraulics Division**, Proceedings of the American Society of Cível Engineers, Vol. 106, N°. HY5, p. 667-678, 1980.

Ponce, V. M. **Engineering Hydrology: Principles and Practices**. New Jersey: Prentice Hall, 1989. 640 p.